

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 101 40 100 A 1

⑯ Int. Cl.⁷:
A 61 N 5/10
G 21 K 1/02

DE 101 40 100 A 1

⑯ Aktenzeichen: 101 40 100.0
⑯ Anmeldetag: 16. 8. 2001
⑯ Offenlegungstag: 28. 3. 2002

⑯ Unionspriorität:
642553 17. 08. 2000 US

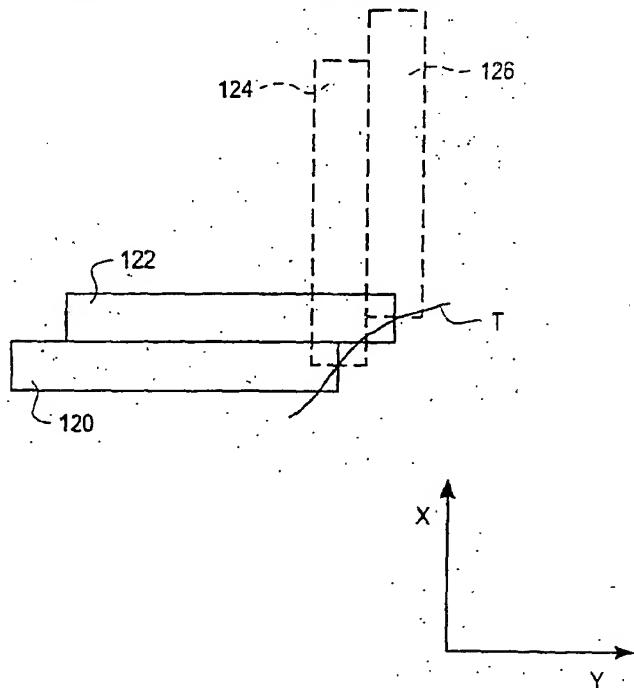
⑯ Erfinder:
Siochi, Ramon Alfredo Carvalho, Apex, N.C., US

⑯ Anmelder:
Siemens Medical Systems, Inc., Iselin, N.J., US

⑯ Vertreter:
Blumbach, Kramer & Partner GbR, 81245 München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Ein Verfahren zum Liefern von Strahlung von einer Strahlungsquelle an einen Behandlungsbereich
⑯ Es wird ein Verfahren zum Liefern von Strahlung von einer Strahlungsquelle an einen Behandlungsbereich (T) unter Verwendung eines Mehrblattkollimators angegeben. Das Verfahren enthält das Positionieren des Mehrblattkollimators zwischen der Strahlungsquelle und dem Objekt zum Blockieren eines Teils der Strahlung. Die Blätter (120, 122) des Mehrblattkollimators sind im wesentlichen innerhalb einer Ebene befindlich und erstrecken sich entlang einer ersten Achse (Y). Die Blätter werden zum Definieren eines ersten Behandlungsfeldes positioniert. Das Verfahren enthält weiter das Liefern der Strahlung an das erste Behandlungsfeld und das Drehen des Mehrblattkollimators um eine zentrale Achse, die sich im wesentlichen senkrecht der Blattebene erstreckt. Die Blätter (124, 126) werden zum Definieren eines zweiten Behandlungsfeldes positioniert, und Strahlung wird an das zweite Behandlungsfeld geliefert.



DE 101 40 100 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Liefern von Strahlung von einer Strahlungsquelle an einen Behandlungsbereich, insbesondere zur Verwendung bei einer hochdichten Strahlungsbchandlung mit einem intensitätsmodulierenden Mehrblattkollimator.

[0002] Strahlungsemisionsvorrichtungen sind allgemein bekannt und werden zum Beispiel als Bestrahlungstherapievorrichtungen für die Behandlung von Patienten verwendet. Eine Bestrahlungstherapievorrichtung enthält allgemein ein Gerüst oder Gestell (zum Beispiel ein Portal, Gantry), das um eine horizontale Drehachse im Verlauf einer therapeutischen Behandlung geschwenkt werden kann. Ein Linearbeschleuniger ist innerhalb des Gestells zum Erzeugen eines Hochenergie-Bestrahlungsstrahls für die Therapie befähigt. Dieser Hochenergie-Bestrahlungsstrahl kann zum Beispiel ein Elektronenstrahl oder ein Photonenstrahl (Röntgenstrahl) sein. Während der Behandlung wird der Bestrahlungsstrahl auf eine Zone eines Patienten, der in dem Isozentrum der Gestelldrehung liegt, gerichtet bzw. kanalisiert.

[0003] Um die Strahlung, die in Richtung des Patienten emittiert wird, zu steuern, ist typischerweise eine Strahlungsabschirmvorrichtung wie eine Plattenanordnung oder ein Kollimator in der Trajektorie des Strahlungsstrahls zwischen der Strahlungsquelle und dem Patienten vorgesehen. Ein Beispiel einer Plattenanordnung ist ein Satz von vier Platten, der zum Definieren einer Öffnung für den Strahlungsstrahl benutzt werden kann. Der Kollimator ist eine Strahlabschirmungsvorrichtung, die mehrere Blätter (z. B. relativ dünne Platten oder Stäbe) enthalten kann, die typischerweise als gegenüberliegende Blattpaare angeordnet sind. Die Platten sind aus einem relativ dichten und strahlungsdurchlässigen Material ausgebildet und sie sind im allgemeinen unabhängig voneinander zum Begrenzen des Strahlungsstrahles positionierbar.

[0004] Die Strahlabschirmungsvorrichtung definiert ein Feld auf der Zone des Patienten, für welches eine vorgeschriebene Strahlungsmenge zu liefern ist. Die gewöhnliche Behandlungsfeldgestalt resultiert in einem dreidimensionalen Behandlungsvolumen, das Segmente von normalem Gewebe enthält, wodurch die Dosis, die dem Tumor gegeben werden kann, begrenzt wird. Die an den Tumor gelieferte Dosis kann erhöht werden, falls die Menge normalen Gewebes, die bestrahlt wird, vermindert wird und die an das normale Gewebe gelieferte Dosis vermindert wird. Die Vermeidung des Liefern von Strahlung an gesunde Organe, die den Tumor umgeben und überlagern, begrenzt die Dosis, die an den Tumor geliefert werden kann.

[0005] Die Lieferung von Strahlung durch eine Bestrahlungstherapievorrichtung wird typischerweise durch einen Onkologen vorgeschrieben. Die Verschreibung ist eine Definition eines bestimmten Volumens und eines bestimmten Bestrahlungspiegelns, von dem gestattet ist, daß er an dieses Volumen geliefert wird. Der tatsächliche Betrieb der Strahlungsausrüstung wird jedoch normalerweise durch einen Therapeuten ausgeführt. Die Bestrahlungsemisionsvorrichtung wird zum Liefern der spezifischen Behandlung, die durch den Onkologen vorgeschrieben worden ist, programmiert. Wenn die Vorrichtung zur Behandlung programmiert wird, hat der Therapeut die tatsächliche Strahlungsausgabe in Betracht zu ziehen und die Dosislieferung basierend auf der Plattenanordnungsöffnung einzustellen, um die vorgeschriebene Strahlungsbchandlung in der gewünschten Tiefe in dem Ziel zu erreichen.

[0006] Die Herausforderung für den Bestrahlungstherapeuten ist die Bestimmung der besten Anzahl von Feldern und Intensitätspeglern zum Optimieren der Dosis-Volumen-

Histogramme, die einen kumulativen Pegel der Strahlung definieren, der an ein spezifiziertes Volumen zu liefern ist. Typische Optimierungsmaschinen optimieren die Dosis-Volumen-Histogramme durch Berücksichtigung der Verschreibung des Onkologen oder einer dreidimensionalen Spezifizierung der zu liefernden Dosis bzw. Dosierung. Bei solchen Optimierungsmaschinen wird das dreidimensionale Volumen in Zellen heruntergebrochen, wobei jede Zelle einen spezifischen Strahlungspiegel, der zu handhaben ist, definiert. Die Ausgaben der Optimierungsmaschinen sind Intensitätskarten, die durch Variieren der Intensität in jeder Zelle in der Karte bestimmt sind. Die Intensitätskarten spezifizieren eine Anzahl von Feldern, die optimierte Intensitätspeglern in jeder Zelle definieren. Die Felder können statisch oder dynamisch moduliert werden, so daß eine unterschiedliche akkumulierte Dosis bzw. Dosis an unterschiedlichen Punkten in dem Feld empfangen wird. Wenn die Strahlung einmal entsprechend der Intensitätskarte geliefert worden ist, sollte die akkumulierte Dosis bzw. Dosisierung in jeder Zelle, oder das Dosis-Volumen-Histogramm, der Verschreibung so nahe wie möglich entsprechen.

[0007] Verfahren, mit denen das Behandlungsvolumen dazu gebracht werden kann, einem Tumor genauer zu entsprechen, enthalten das Definieren der Tumorgestalt mit einem Bleilegierungsblock, das Bewegen von festen Klauenblöcken während der Behandlung, das Abtasten mit dem Strahlungsstrahl über das zu behandelnde Volumen, und das Verwenden eines Mehrblattkollimators, um ein unregelmäßig geformtes Feld zu erzeugen, das im wesentlichen der Gestalt des Tumors entspricht. Der Mehrblattkollimator enthält zwei gegenüberliegende Felder von Seite-an-Seite angeordneten, länglichen, strahlungsblockierenden Kollimatorblättern. Jedes Blatt kann longitudinal in Richtung auf die oder weg von der zentralen Achse des Strahls bewegt werden, wodurch eine gewünschte Gestalt definiert wird, durch welche der Strahlungsstrahl hindurchgehen wird. Mehrblattkollimatoren werden in zunehmendem Maße verwendet, um Bleilegierungsblöcke bei vielen konformen (formtreuen) Strahlungsbchandlungen zu ersetzen, um Kosten und die zur Erzeugung des Blockes benötigte Zeit zu reduzieren. Jedoch gibt es immer noch eine Anzahl von Behandlungsfällen, die die Verwendung von Blöcken erfordern, da das konforme (formtreue) Formen unter Verwendung eines Mehrblattkollimators in diesen Fällen nicht adäquat verwirklicht werden kann. Dieses ist aufgrund des "Treppenstufen"-Effektes, der entlang der Feldränder auftritt, die nicht senkrecht zu den Blattflächenrändern sind. Ein welliges Strahlungsmuster an der Grenze eines bestrahlten Volumens ergibt sich, wenn die Blätter zum Erzeugen einer unregelmäßigen Gestalt gestuft sind. Diese Verteilung ist nicht akzeptabel für Feldränder, die benachbart zu kritischen Strukturen sind, oder wenn ein Aneinanderstoßen mit zusätzlichen Feldern geplant ist.

[0008] Ein Verfahren zum Reduzieren dieses Treppenstufen-Effektes ist das Unterteilen der Behandlungsdosis in mehrere Intensitätsfelder und das Verschieben des Tisches, auf dem der Patient liegt, zwischen den Lieferungen (Anwendungen) jedes Intensitätsfeldes, d. h. der jeweiligen Intensitätsfelder. Jedoch ist dieses oft nicht wünschenswert, da die Tischverschiebungen das geplante Isozentrum bewegen.

[0009] Eine andere mögliche Lösung ist das Vorsehen eines Kollimators mit dünneren Blättern. Jedoch ist die für die zusätzlichen Blätter benötigte Hardware teuer, fügt dem System Gewicht hinzu, kann den Freiraum zwischen dem Behandlungskopf und dem Patienten reduzieren, und kann die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer des Systems vermindern.

[0010] Dementsprechend gibt es ein Bedürfnis nach einem Verfahren zum Erzielen einer Intensitätsmodulation mit

einer höheren räumlichen Auflösung, um Treppenstufeneffekte an kritischen Grenzen während einer Bestrahlungstherapie zu vermindern, ohne die momentanen Mehrblattkollimatorblattbreiten zu ändern oder den Patienten während der Bestrahlungsbehandlung zu verschieben.

[0011] Dieses Bedürfnis wird befriedigt durch ein Verfahren nach Anspruch 1.

[0012] Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0013] Bei einer Ausführungsform wird der Kollimator gedreht, bis sich die Blätter longitudinal entlang einer zweiten Achse, die im wesentlichen senkrecht zu der ersten Achse ist, erstrecken. Die Blätter können longitudinal zum Erzeugen zusätzlicher Behandlungsfelder bewegt werden. Eine vorgeschriebene Strahlungsdosis wird bevorzugterweise gleichmäßig unter den unterschiedlichen Behandlungsfeldern aufgeteilt.

[0014] Das Verfahren kann weiter das Unterteilen des Behandlungsbereichs in eine Mehrzahl von Zellen enthalten, von denen jede einen definierten Behandlungsintensitätspegel aufweist. Die Zellen werden zur Bildung einer Mehrzahl von Matrizen gruppiert, wobei jede der Matrizen mindestens eine Abmessung aufweist, die ungefähr gleich der Breite eines Kollimatorblattes ist. Jede der Matrizen wird zerlegt in orthogonale Matrizen für eine Bestrahlung mit einem Null-Grad-Offset-Kollimator und einem Neunzig-Grad-Offset-Kollimator.

[0015] Das Obige ist eine kurze Beschreibung von einigen Nachteilen des Standes der Technik und Vorteilen der vorliegenden Erfindung. Andere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren. Von den Figuren zeigen:

[0016] Fig. 1 eine Darstellung einer Bestrahlungsbehandlungsanordnung und einer Behandlungskonsole entsprechend einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und einen Patienten, der zur Behandlung innerhalb der Bestrahlungsanordnung positioniert ist;

[0017] Fig. 2 eine Blockdarstellung, die Teile der Bestrahlungsbehandlungsanordnung aus Fig. 1 illustriert;

[0018] Fig. 3 ein Schema, das Blätter des Mehrblattkollimators, die zur Behandlung in der Strahlungsbehandlungsanordnung aus Fig. 1 positioniert sind, illustriert;

[0019] Fig. 4 eine Draufsicht, die einen Teil der Blätter des Mehrblattkollimators, die in einer ersten Position positioniert sind, und Blätter, die gestrichelt gezeigt sind, des in einer zweiten Position positionierten Kollimators, illustriert;

[0020] Fig. 5 eine Draufsicht des Mehrblattkollimators, der in einer Null-Grad-Offset-Position positioniert ist;

[0021] Fig. 6 eine Draufsicht des Mehrblattkollimators aus Fig. 5, der in einer Neunzig-Grad-Offset-Position positioniert ist;

[0022] Fig. 7 eine Draufsicht von zwei Blättern, die eine Grenze eines Behandlungsbereichs schneiden, wobei die Blätter in einer zweiten Position gestrichelt gezeigt sind;

[0023] Fig. 8 eine Draufsicht auf zwei Blätter, die die Grenze des Behandlungsbereichs schneiden, wobei der Kollimator aus seiner Null-Grad-Offset-Position gedreht ist, und wobei die Blätter in einer zweiten Position gestrichelt gezeigt sind;

[0024] Fig. 9 eine Draufsicht auf einen Behandlungsbereich, der in zwei Abschnitte für eine Strahlungslieferung mit dem in seiner Null-Grad-Offset-Orientierung positionierten Kollimator unterteilt ist;

[0025] Fig. 10 eine Draufsicht des Behandlungsbereichs aus Fig. 9, der in zwei Abschnitte für eine Strahlungslieferung mit dem in seiner Neunzig-Grad-Offset-Orientierung positionierten Kollimator unterteilt ist;

[0026] Fig. 11 eine Draufsicht eines Behandlungsbereichs mit einem Gitter, das über dem Behandlungsbereich zum Definieren von Zellen innerhalb des Behandlungsbereichs platziert ist;

5 [0027] Fig. 12 ein Schema, das die Zellen aus Fig. 11, die in einer Intensitätskarte befindlich sind, illustriert;

[0028] Fig. 13 eine Darstellung einer Matrix, die in eine Null-Grad-Matrix-Komponente und eine Neunzig-Grad-Matrix-Komponente heruntergebrochen ist;

10 [0029] Fig. 14 eine Draufsicht auf ein gegenüberliegendes Paar von Blättern, die zum Anwenden einer Dosierung, die durch die Null-Grad-Matrix aus Fig. 13 spezifiziert ist, konfiguriert sind;

[0030] Fig. 15 eine Draufsicht auf ein gegenüberliegendes 15 Paar von Blättern, die zum Anwenden einer Dosierung, die durch die Neunzig-Grad-Matrix aus Fig. 13 spezifiziert ist, konfiguriert sind; und

[0031] Fig. 16 eine Ablaufdarstellung, die einen Prozess 20 zum Definieren einer Intensitätskarte für einen Behandlungsbereich und zum Liefern von Strahlung an den Behandlungsbereich illustriert.

[0032] Dieselben Bezugszeichen bezeichnen entsprechende Teile durch die Figuren.

[0033] Die folgende Beschreibung wird gegeben, um 25 Durchschnittsfachleute in die Lage zu versetzen, die Erfindung auszuführen, und sie wird im Kontext von Patentanmeldungen und ihren Anforderungen gegeben. Verschiedene Modifikationen der bevorzugten Ausführungsformen werden den Fachleuten leicht einfallen und die grundsätzlichen Prinzipien, die hier beschrieben werden, können auf alle Ausführungsformen angewandt werden.

[0034] Unter Bezugnahme auf die Figuren, und zuerst unter Bezugnahme auf Fig. 1, eine Strahlungsbehandlungsanordnung nach einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in Fig. 1 gezeigt und allgemein mit dem Bezugszeichen 20 bezeichnet. Die Strahlungsbehandlungsanordnung 20 weist eine Strahlabschirmungsvorrichtung (nicht gezeigt) innerhalb eines Behandlungskopfes 24, eine Steuereinheit innerhalb eines Gehäuses 26, das mit einer Behandlungsverarbeitungseinheit, die allgemein mit 30 bezeichnet ist, verbunden ist, auf. Die Strahlungsbehandlungsanordnung weist weiter ein Gestell (Gerüst, Portal, Gantry) 36, das zur Drehung um die Achse A im Laufe einer therapeutischen Behandlung geschwenkt bzw. gedreht werden kann, auf. Der Behandlungskopf 24 ist an dem Gestell 36 zur Bewegung mit diesem befestigt. Ein Linearbeschleuniger ist innerhalb des Gestells zur Erzeugung einer Hochleistungsstrahlung, die zur Therapie verwendet wird, befindlich. Die Strahlung, die von dem Linearbeschleuniger emittiert wird, verläuft allgemein entlang der Achse R. Elektronen, Photonen, oder irgendeine andere detektierbare Strahlung kann für die Therapie verwendet werden. Während der Behandlung wird der Strahlungsstrahl auf eine Zone Z eines Objektes P (z. B. ein Patient, der zu behandeln ist) fokussiert. Die zu behandelnde Zone ist in einem Isozentrum befindlich, das durch den Schnitt der Drehachse A des Gestells 36, der Drehachse T des Behandlungstisches 38, und der Strahlungsstrahlachse R definiert wird. Das drehbare Gestell 36 erlaubt unterschiedliche Strahlwinkel und Bestrahlungs-

40 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995 1000 1005 1010 1015 1020 1025 1030 1035 1040 1045 1050 1055 1060 1065 1070 1075 1080 1085 1090 1095 1100 1105 1110 1115 1120 1125 1130 1135 1140 1145 1150 1155 1160 1165 1170 1175 1180 1185 1190 1195 1200 1205 1210 1215 1220 1225 1230 1235 1240 1245 1250 1255 1260 1265 1270 1275 1280 1285 1290 1295 1300 1305 1310 1315 1320 1325 1330 1335 1340 1345 1350 1355 1360 1365 1370 1375 1380 1385 1390 1395 1400 1405 1410 1415 1420 1425 1430 1435 1440 1445 1450 1455 1460 1465 1470 1475 1480 1485 1490 1495 1500 1505 1510 1515 1520 1525 1530 1535 1540 1545 1550 1555 1560 1565 1570 1575 1580 1585 1590 1595 1600 1605 1610 1615 1620 1625 1630 1635 1640 1645 1650 1655 1660 1665 1670 1675 1680 1685 1690 1695 1700 1705 1710 1715 1720 1725 1730 1735 1740 1745 1750 1755 1760 1765 1770 1775 1780 1785 1790 1795 1800 1805 1810 1815 1820 1825 1830 1835 1840 1845 1850 1855 1860 1865 1870 1875 1880 1885 1890 1895 1900 1905 1910 1915 1920 1925 1930 1935 1940 1945 1950 1955 1960 1965 1970 1975 1980 1985 1990 1995 2000 2005 2010 2015 2020 2025 2030 2035 2040 2045 2050 2055 2060 2065 2070 2075 2080 2085 2090 2095 2100 2105 2110 2115 2120 2125 2130 2135 2140 2145 2150 2155 2160 2165 2170 2175 2180 2185 2190 2195 2200 2205 2210 2215 2220 2225 2230 2235 2240 2245 2250 2255 2260 2265 2270 2275 2280 2285 2290 2295 2300 2305 2310 2315 2320 2325 2330 2335 2340 2345 2350 2355 2360 2365 2370 2375 2380 2385 2390 2395 2400 2405 2410 2415 2420 2425 2430 2435 2440 2445 2450 2455 2460 2465 2470 2475 2480 2485 2490 2495 2500 2505 2510 2515 2520 2525 2530 2535 2540 2545 2550 2555 2560 2565 2570 2575 2580 2585 2590 2595 2600 2605 2610 2615 2620 2625 2630 2635 2640 2645 2650 2655 2660 2665 2670 2675 2680 2685 2690 2695 2700 2705 2710 2715 2720 2725 2730 2735 2740 2745 2750 2755 2760 2765 2770 2775 2780 2785 2790 2795 2800 2805 2810 2815 2820 2825 2830 2835 2840 2845 2850 2855 2860 2865 2870 2875 2880 2885 2890 2895 2900 2905 2910 2915 2920 2925 2930 2935 2940 2945 2950 2955 2960 2965 2970 2975 2980 2985 2990 2995 3000 3005 3010 3015 3020 3025 3030 3035 3040 3045 3050 3055 3060 3065 3070 3075 3080 3085 3090 3095 3100 3105 3110 3115 3120 3125 3130 3135 3140 3145 3150 3155 3160 3165 3170 3175 3180 3185 3190 3195 3200 3205 3210 3215 3220 3225 3230 3235 3240 3245 3250 3255 3260 3265 3270 3275 3280 3285 3290 3295 3300 3305 3310 3315 3320 3325 3330 3335 3340 3345 3350 3355 3360 3365 3370 3375 3380 3385 3390 3395 3400 3405 3410 3415 3420 3425 3430 3435 3440 3445 3450 3455 3460 3465 3470 3475 3480 3485 3490 3495 3500 3505 3510 3515 3520 3525 3530 3535 3540 3545 3550 3555 3560 3565 3570 3575 3580 3585 3590 3595 3600 3605 3610 3615 3620 3625 3630 3635 3640 3645 3650 3655 3660 3665 3670 3675 3680 3685 3690 3695 3700 3705 3710 3715 3720 3725 3730 3735 3740 3745 3750 3755 3760 3765 3770 3775 3780 3785 3790 3795 3800 3805 3810 3815 3820 3825 3830 3835 3840 3845 3850 3855 3860 3865 3870 3875 3880 3885 3890 3895 3900 3905 3910 3915 3920 3925 3930 3935 3940 3945 3950 3955 3960 3965 3970 3975 3980 3985 3990 3995 4000 4005 4010 4015 4020 4025 4030 4035 4040 4045 4050 4055 4060 4065 4070 4075 4080 4085 4090 4095 4100 4105 4110 4115 4120 4125 4130 4135 4140 4145 4150 4155 4160 4165 4170 4175 4180 4185 4190 4195 4200 4205 4210 4215 4220 4225 4230 4235 4240 4245 4250 4255 4260 4265 4270 4275 4280 4285 4290 4295 4300 4305 4310 4315 4320 4325 4330 4335 4340 4345 4350 4355 4360 4365 4370 4375 4380 4385 4390 4395 4400 4405 4410 4415 4420 4425 4430 4435 4440 4445 4450 4455 4460 4465 4470 4475 4480 4485 4490 4495 4500 4505 4510 4515 4520 4525 4530 4535 4540 4545 4550 4555 4560 4565 4570 4575 4580 4585 4590 4595 4600 4605 4610 4615 4620 4625 4630 4635 4640 4645 4650 4655 4660 4665 4670 4675 4680 4685 4690 4695 4700 4705 4710 4715 4720 4725 4730 4735 4740 4745 4750 4755 4760 4765 4770 4775 4780 4785 4790 4795 4800 4805 4810 4815 4820 4825 4830 4835 4840 4845 4850 4855 4860 4865 4870 4875 4880 4885 4890 4895 4900 4905 4910 4915 4920 4925 4930 4935 4940 4945 4950 4955 4960 4965 4970 4975 4980 4985 4990 4995 5000 5005 5010 5015 5020 5025 5030 5035 5040 5045 5050 5055 5060 5065 5070 5075 5080 5085 5090 5095 5100 5105 5110 5115 5120 5125 5130 5135 5140 5145 5150 5155 5160 5165 5170 5175 5180 5185 5190 5195 5200 5205 5210 5215 5220 5225 5230 5235 5240 5245 5250 5255 5260 5265 5270 5275 5280 5285 5290 5295 5300 5305 5310 5315 5320 5325 5330 5335 5340 5345 5350 5355 5360 5365 5370 5375 5380 5385 5390 5395 5400 5405 5410 5415 5420 5425 5430 5435 5440 5445 5450 5455 5460 5465 5470 5475 5480 5485 5490 5495 5500 5505 5510 5515 5520 5525 5530 5535 5540 5545 5550 5555 5560 5565 5570 5575 5580 5585 5590 5595 5600 5605 5610 5615 5620 5625 5630 5635 5640 5645 5650 5655 5660 5665 5670 5675 5680 5685 5690 5695 5700 5705 5710 5715 5720 5725 5730 5735 5740 5745 5750 5755 5760 5765 5770 5775 5780 5785 5790 5795 5800 5805 5810 5815 5820 5825 5830 5835 5840 5845 5850 5855 5860 5865 5870 5875 5880 5885 5890 5895 5900 5905 5910 5915 5920 5925 5930 5935 5940 5945 5950 5955 5960 5965 5970 5975 5980 5985 5990 5995 6000 6005 6010 6015 6020 6025 6030 6035 6040 6045 6050 6055 6060 6065 6070 6075 6080 6085 6090 6095 6100 6105 6110 6115 6120 6125 6130 6135 6140 6145 6150 6155 6160 6165 6170 6175 6180 6185 6190 6195 6200 6205 6210 6215 6220 6225 6230 6235 6240 6245 6250 6255 6260 6265 6270 6275 6280 6285 6290 6295 6300 6305 6310 6315 6320 6325 6330 6335 6340 6345 6350 6355 6360 6365 6370 6375 6380 6385 6390 6395 6400 6405 6410 6415 6420 6425 6430 6435 6440 6445 6450 6455 6460 6465 6470 6475 6480 6485 6490 6495 6500 6505 6510 6515 6520 6525 6530 6535 6540 6545 6550 6555 6560 6565 6570 6575 6580 6585 6590 6595 6600 6605 6610 6615 6620 6625 6630 6635 6640 6645 6650 6655 6660 6665 6670 6675 6680 6685 6690 6695 6700 6705 6710 6715 6720 6725 6730 6735 6740 6745 6750 6755 6760 6765 6770 6775 6780 6785 6790 6795 6800 6805 6810 6815 6820 6825 6830 6835 6840 6845 6850 6855 6860 6865 6870 6875 6880 6885 6890 6895 6900 6905 6910 6915 6920 6925 6930 6935 6940 6945 6950 6955 6960 6965 6970 6975 6980 6985 6990 6995 7000 7005 7010 7015 7020 7025 7030 7035 7040 7045 7050 7055 7060 7065 7070 7075 7080 7085 7090 7095 7100 7105 7110 7115 7120 7125 7130 7135 7140 7145 7150 7155 7160 7165 7170 7175 7180 7185 7190 7195 7200 7205 7210 7215 7220 7225 7230 7235 7240 7245 7250 7255 7260 7265 7270 7275 7280 7285 7290 7295 7300 7305 7310 7315 7320 7325 7330 7335 7340 7345 7350 7355 7360 7365 7370 7375 7380 7385 7390 7395 7400 7405 7410 7415 7420 7425 7430 7435 7440 7445 7450 7455 7460 7465 7470 7475 7480 7485 7490 7495 7500 7505 7510 7515 7520 7525 7530 7535 7540 7545 7550 7555 7560 7565 7570 7575 7580 7585 7590 7595 7600 7605 7610 7615 7620 7625 7630 7635 7640 7645 7650 7655 7660 7665 7670 7675 7680 7685 7690 7695 7700 7705 7710 7715 7720 7725 7730 7735 7740 7745 7750 7755 7760 7765 7770 7775 7780 7785 7790 7795 7800 7805 7810 7815 7820 7825 7830 7835 7840 7845 7850 7855 7860 7865 7870 7875 7880 7885 7890 7895 7900 7905 7910 7915 7920 7925 7930 7935 7940 7945 7950 7955 7960 7965 7970 7975 7980 7985 7990 7995 8000 8005 8010 8015 8020 8025 8030 8035 8040 8045 8050 8055 8060 8065 8070 8075 8080 8085 8090 8095 8100 8105 8110 8115 8120 8125 8130 8135 8140 8145 8150 8155 8160 8165 8170 8175 8180 8185 8190 8195 8200 8205 8210 8215 8220 8225 8230 8235 8240 8245 8250 8255 8260 8265 8270 8275 8280 8285 8290 8295 8300 8305 8310 8315 8320 8325 8330 8335 8340 8345 8350 8355 8360 8365 8370 8375 8380 8385 8390 8395 8400 8405 8410 8415 8420 8425 8430 8435 8440 8445 8450 8455 8460 8465 8470 8475 8480 8485 8490 8495 8500 8505 8510 8515 8520 8525 8530 8535 8540 8545 8550 8555 8560 8565 8570 8575 8580 8585 8590 8595 8600 8605 8610 8615 8620 8625 8630 8635 8640 8645 8650 8655 8660 8665 8670 8675 8680

wird typischerweise durch einen Therapeuten betätigt, der die tatsächliche Lieferung der Bestrahlungsbehandlung, wie sie durch einen Onkologen vorgeschrieben worden ist, verwaltet bzw. überwacht. Der Therapeut verwendet die Tastatur 42 zum Eingeben von Daten, die die Bestrahlungsdosis, die an den Patienten zu liefern ist, definieren, in die Verarbeitungseinheit 30. Die Daten können auch über andere Eingabevorrichtungen wie zum Beispiel eine Datenspeichervorrichtung eingegeben werden. Verschiedene Datentypen können vor und während der Behandlung auf dem Schirm des Anzeigemonitors 40 angezeigt werden.

[0036] Fig. 2 ist eine Blockdarstellung der Bestrahlungsbehandlungsvorrichtung, die Abschnitte der Behandlungsverarbeitungseinheit 30 in weiterem Detail zeigt. Ein Elektronenstrahl 50 wird in einem Elektronenbeschleuniger, der allgemein mit 52 bezeichnet ist, erzeugt. Der Elektronenbeschleuniger 52 enthält eine Elektronenkanone 54, einen Wellenleiter 56 und eine evakuierte Umhüllung oder einen evakuierten Führungsmagneten 58. Ein Triggersystem 60 erzeugt Injektortrigger signale und liefert sie an einen Injektor 62. Basierend auf diesen Injektortrigger signalen erzeugt der Injektor 62 Injektorpulse, die an die Elektronenkanone 54 in den Beschleuniger 52 zum Erzeugen des Elektronenstrahls 50 geliefert werden. Der Elektronenstrahl 50 wird durch den Wellenleiter 56 beschleunigt und geführt. Zu diesem Zweck ist eine Hochfrequenzquelle (nicht gezeigt) vorgesehen, die Hochfrequenzsignale für die Erzeugung eines elektromagnetischen Feldes liefert, das an den Wellenleiter 56 geliefert wird. Die Elektronen, die durch den Injektor 62 injiziert und durch die Elektronenkanone 54 emittiert werden, werden durch das elektromagnetische Feld in dem Wellenleiter 56 beschleunigt und treten an dem Ende, das der Elektronenkanone 54 entgegengesetzt ist, zur Bildung des Elektronenstrahls 50 aus. Der Elektronenstrahl 50 tritt dann in den Führungsmagneten 58 ein und wird von dort durch ein Fenster 64 entlang der Achse R geführt. Nach dem Durchgang durch eine Streufolie 66 für den Elektronenmodus (oder ein Target für den Photonenmodus) tritt der Strahl 50 durch einen Durchgang 68 eines Abschirmungsblockes 70 und trifft auf eine Sekundärstreufolie 72 für den Elektronenmodus (oder ein Glättungsfilter für den Photonenmodus).

[0037] Der Strahl tritt als nächstes durch eine Messkammer 74, in der die Dosis festgestellt wird. Eine Strahlabschirmungsvorrichtung, allgemein mit 80 bezeichnet, ist in dem Weg des Strahls 50 vorgesehen, um ein Behandlungsfeld 81 (Fig. 2 und 3) zu definieren. Die Strahlabschirmungsvorrichtung 80 enthält eine Mehrzahl von gegenüberliegenden Platten oder Blättern 82a-i und 84a-i, von denen in Fig. 2 zur Vereinfachung nur zwei gezeigt sind. Fig. 3 illustriert die Blätter 82a-i und 84a-i (die Blattpaare 82a und 84a, 82b und 84b, ..., 82i und 84i bilden) eines Mehrblattkollimators, der zwischen der Strahlungsquelle und einem Patienten montiert und zum Definieren eines Behandlungsfeldes durch Begrenzen des Elektronenstrahls 50 positioniert ist. Die Blätter 82a-i, 84a-i haben typischerweise eine Breite von einem Zentimeter und sind im wesentlichen un durchlässig für die emittierte Strahlung, so daß sie gesundes Gewebe gegenüber der Strahlung abblocken bzw. abschirmen.

[0038] Die Blätter 82a-i, 84a-i sind in einer Richtung, die allgemein bzw. im wesentlichen senkrecht zu der Achse R ist, durch eine Antriebseinheit 86 (die in Fig. 2 nur in bezug auf die Platte 82a gezeigt ist) zum Ändern der Größe des bestrahlten Feldes bewegbar, so daß die Strahlungsverteilung über das Feld nicht gleichförmig sein muß (d. h., ein Bereich kann einer höheren Dosis als ein anderer Bereich ausgesetzt werden). Die Antriebseinheit 86 enthält einen elektrischen

Motor, der mit der Platte 82a gekoppelt ist und durch eine Motorsteuerung 90 gesteuert wird. Positionssensoren 92, 94 sind ebenfalls mit den Platten 82a bzw. 84a zum Erfassen ihrer Positionen gekoppelt. Die Antriebseinheit 86 treibt die Platte 82a zur Bewegung in das und aus dem Behandlungsfeld an, wodurch die gewünschten Feldgestalten erzeugt werden.

[0039] Die Motorsteuerung 90 ist mit einer Dosissteuerungseinheit 96 gekoppelt, die eine Dosimetriesteuerung enthält, die mit der zentralen Prozessoreinheit 28 zum Liefern von Einstellwerten für den Strahlungsstrahl zum Erzielen gegebenen Isodosiskurven gekoppelt ist (Fig. 2). Die Ausgabe des Strahlungsstrahls (d. h. dessen Energie/Leistung) wird durch die Meßkammer 74 gemessen. Als Reaktion auf eine Abweichung zwischen dem eingestellten Wert und den tatsächlichen Werten liefert die Dosissteuerungseinheit 96 Signale an das Triggersystem 60, das in einer bekannten Weise die Pulswiederholfrequenz so ändert, daß die Abweichung zwischen den eingestellten Werten und den tatsächlichen Werten der Strahlungsstrahlausgabe (Energie/Leistung) minimiert wird. Die durch den Patienten absorbierte Dosis ist abhängig von der Bewegung der Kollimatorplatten 82a, 84a. Die zentrale Prozessoreinheit 28 steuert das Ausführen des Programms und das Öffnen und Schließen der Kollimatorplatten 82a, 84a zum Liefern einer Strahlung entsprechend eines gewünschten Intensitätsprofils. Die zentrale Prozessoreinheit 28 kann andere Merkmale enthalten, wie sie zum Beispiel in der US 5 724 403 beschrieben sind, die hier zu diesem Zweck in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme auf genommen wird.

[0040] Es ist zu verstehen, daß die Strahlungsbehandlungsvorrichtung unterschiedlich von derjenigen sein kann, die hier beschrieben und gezeigt wurde. Die oben beschriebene Behandlungsvorrichtung 20 ist ein Beispiel einer Vorrang zur Verwendung beim Liefern einer Behandlung entsprechend des Verfahrens, das unten beschrieben wird.

[0041] Im Folgenden werden Verfahren nach Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung zum Liefern von Strahlung an einen Behandlungsbereich mit einem Mehrblattkollimator, der zum Drehen um eine Achse R des Strahlungsstrahls ansteuerbar ist, die mit einer zentralen Achse übereinstimmt, die sich im wesentlichen senkrecht zu einer Ebene erstreckt, die mindestens einen Teil der Blätter des Mehrblattkollimators enthält (Fig. 1), beschrieben. Die Verfahren enthalten das Anwenden einer ersten Strahlungsbehandlung auf einen Behandlungsbereich mit dem Kollimator in einer ersten Position und dann das Drehen des Kollimators um die Achse R und das Anwenden einer zweiten Strahlungsbehandlung. Um den Treppenstufeneffekt, der

durch die Breite der Blätter erzeugt wird, zu reduzieren, wird die Strahlung in zwei oder mehr getrennten Behandlungsfeldern geliefert, wobei das erste Behandlungsfeld ein Behandlungsfeld ist, bei dem der Kollimator in einer Null-Grad-Offset-Orientierung ist, und das zweite Behandlungsfeld ein Behandlungsfeld ist, bei dem der Kollimator um ungefähr neunzig Grad gegenüber der ersten Kollimatorposition versetzt bzw. verdreht ist. Die Null-Grad-Offset-Orientierung des Kollimators kann entsprechend Prozeduren ausgewählt werden, die zum Auswählen der optimalen Kollimatororientierung für eine herkömmliche Mehrblattkollimatorstrahlungslieferung (d. h. keine Kollimatordrehung um die Achse R) verwendet werden. Softwareprodukte wie "Beamshaper" können zum Bestimmen der optimalen Kollimatororientierung verwendet werden, wie es den Durchschnittsfachleuten wohlbekannt ist. Wie unten beschrieben wird, wird der Kollimator bevorzugterweise um ungefähr neunzig Grad relativ zu der Null-Grad-Position gedreht, jedoch können die beiden Kollimatorpositionen auch um eine

Winkeldrehung unterschiedlich von neunzig Grad voneinander getrennt sein, oder die Strahlung kann mit einem Kollimator, der in mehr als zwei Winkelorientierungen positioniert ist, ausgestrahlt werden, ohne daß von der Erfindung abgewichen wird.

[0042] Das erste Verfahren, das unten beschrieben wird, enthält das Positionieren der Blätter derart, daß ein vorderer Rand von jedem Blatt eine Grenze des Behandlungsbereiches an dem spezifizierten Ort schneidet. Das zweite Verfahren enthält das Definieren einer Intensitätskarte auf dem Behandlungsbereich und das Positionieren der Blätter basierend auf der Intensitätskarte. Das zweite Verfahren wird bevorzugt, falls die Grenze des Behandlungsbereiches steile (große Steigerung) Abschnitte, kurze Abschnitte oder scharfe Änderungen in der Krümmung aufweist.

[0043] Fig. 4 zeigt eine Teildraufsicht eines Behandlungsbereiches T und einen Teil der Blätter des Mehrblattkollimators, der in zwei unterschiedlichen Orientierungen positioniert ist, zum Definieren einer Grenze des Behandlungsbereichs. Die Blätter 120 und 122 erstrecken sich longitudinal entlang der Y-Achse, wobei der Kollimator in seiner Null-Grad-Offset-Orientierung positioniert ist (Fig. 4 und 5). Die Blätter 124 und 126 (in Fig. 4 gestrichelt gezeigt) erstrecken sich longitudinal entlang der X-Achse, wenn der Kollimator in seiner Neunzig-Grad-Offset-Position positioniert ist (Fig. 4 und 6). Fig. 4 illustriert, daß die Auflösung an der Grenze des Zielbereiches durch Anlegen der Strahlung in zwei unterschiedlichen Kollimatororientierungen erhöht werden kann. Die Blätter können außerdem longitudinal bewegt werden, während der Kollimator in derselben Orientierung bleibt, um die Auflösung weiter zu erhöhen. Wie in Fig. 7 und 8 gezeigt ist, die Blätter 120, 122 und 124, 126 schneiden einen Umfangsrund (Grenze) des Behandlungsbereichs T, wobei der Kollimator in seiner Null-Grad-Offset-Orientierung bzw. seiner Neunzig-Grad-Offset-Orientierung positioniert ist. Die Blätter, die gestrichelt gezeigt sind, sind longitudinal gegenüber einer ersten Position versetzt, um ein neues Behandlungsfeld zu erzeugen. Die Anzahl der Blattpositionen und der Kollimatororientierungen, die zur Reduzierung des Treppenstufeneffektes benötigt werden, hängt davon ab, wie fein oder "sanft" die Kontur gewünscht wird. Jedwede Anzahl von Intensitätsfeldern kann zum Liefern der Strahlung bei unterschiedlichen Kollimatororientierungen und verschiedenen longitudinalen Blattpositionen verwendet werden, um die gewünschte Kontur entlang des Umfangsrands des Behandlungsbereichs T zu liefern.

[0044] Bei dem ersten Verfahren zum Definieren von Blattpositionen für die unterschiedlichen Behandlungsfelder basiert die Position jedes Blattes relativ zu dem Umfangsrund des Behandlungsbereichs T auf der Anzahl der zu liefernden Behandlungsfelder. Falls nur zwei Behandlungsfelder geliefert werden, wird jedes Blatt derart positioniert, daß der Querrand (d. h. die vordere Fläche) 130 jedes Blattes die Grenze des Behandlungsbereichs ungefähr an ihrem Mittelpunkt (d. h. eine Hälfte der Blattbreite) schneidet (Fig. 5 und 6). Derart wird der Kollimator zuerst in seiner Null-Grad-Offset-Orientierung positioniert, wobei jedes Blatt zum Schneiden der Behandlungsbereichsgrenze an seinem Mittelpunkt positioniert ist, wie es in Fig. 5 gezeigt ist. Die Hälfte der Strahlungsdosis wird mit den Blättern, die dieses erste Behandlungsfeld definieren, geliefert. Der Kollimator wird dann um die zentrale Achse R gedreht, bis sich die Blätter im wesentlichen senkrecht zu ihrer ursprünglichen Blattposition erstrecken (Fig. 6). Die Blätter werden jeweils longitudinal entlang der X-Achse bewegt, bis jedes Blatt die Grenze ungefähr an dem Mittelpunkt der Blattkante 130 schneidet. Die verbleibende Hälfte der Strahlungsdosis wird dann mit den Blättern, die zum Defi-

nieren dieses zweiten Behandlungsfeldes positioniert sind, geliefert.

[0045] Falls drei separate Behandlungsfelder verwendet werden, kann ein Feld mit dem Mehrblattkollimator in einer ersten Orientierung geliefert werden, und die anderen beiden Felder können mit dem Mehrblattkollimator in einer zweiten Orientierung geliefert werden. Zum Beispiel kann das erste Behandlungsfeld geliefert werden, wie es oben für den Fall mit zwei Behandlungsfeldern beschrieben und in Fig. 5 gezeigt wurde. Der Kollimator wird dann zu seiner zweiten Orientierung (z. B. um neunzig Grad gegenüber der ersten Kollimatororientierung gedreht) gedreht und die Strahlung wird über zwei separate Behandlungsfelder geliefert, wobei die Blätter zwei unterschiedliche Punkte entlang der Grenze schneiden, wie es in Fig. 8 gezeigt und unten beschrieben ist.

[0046] Falls vier unterschiedliche Behandlungsfelder verwendet werden, wird die vorgeschriebene Anzahl von Überwachungseinheiten der Strahlung in vier gleiche Dosen unterteilt, wobei ein Viertel der Strahlung an jedes Behandlungsfeld geliefert wird. Die Fig. 7 und 8 zeigen Blätter, die für zwei Behandlungsfelder mit dem Kollimator in seiner Null-Grad-Offset-Position bzw. zwei Behandlungsfelder mit dem Kollimator in seiner Neunzig-Grad-Offset-Position positioniert sind. Die Strahlung wird zuerst mit den Blättern 120, 122, die zum Schneiden der Behandlungsbereichsgrenze an einem Ort, der ungefähr ein Drittel des Weges entlang der Querkante 130 jedes Blattes ist, positioniert (Fig. 7). Die Blätter 120, 122 werden dann longitudinal bewegt (wie es gestrichelt gezeigt ist), bis jedes Blatt die Grenze an einem Ort schneidet, der ungefähr zwei Drittel des Weges entlang der Querkante des Blattes liegt.

[0047] Die folgende Gleichung kann zum Bestimmen der Anzahl von Blattpositionen benutzt werden, die für jede Kollimatororientierung mit einer gegebenen Anzahl von Behandlungsfeldern benötigt werden:

$$m = n/2 \text{ (für eine gerade Anzahl von Feldern)}$$

wobei n = Anzahl der Behandlungsfelder und m = Anzahl der Blattpositionen für jede Kollimatororientierung.

[0048] Die Anzahl der vorgeschriebenen Überwachungseinheiten der Strahlung, die an jedes Feld geliefert werden, wird $1/n$ sein. Der Schnittpunkt der Blätter und der Grenze für jede Position wird in Intervallen von $1/(m+1)$ -mal der Blattbreite sein. Falls zum Beispiel ein 1 cm breites Blatt verwendet wird und die Strahlung über sechs Behandlungsfelder zu liefern ist, wird die Anzahl der Blattpositionen für jede Kollimatororientierung (z. B. Null-Grad-Offset und Neunzig-Grad-Offset) sein:

$$m = 6/2 = 3$$

und der Schnittpunkt zwischen jedem Blatt und der Grenze wird in Intervallen von

$$1/(3+1) = 1/4 \times 1 \text{ cm}$$

sein. Derart sind die Schnittpunkte bei $1/4$ cm, $1/2$ cm und $3/4$ cm der Gesamtblattbreite entlang der Querkante 130 des Blattes.

[0049] Falls die Anzahl der Intensitätsfelder ungerade ist (d. h. $n = 2m+1$), liegen die Punkte entlang des Blattes in Intervallen von $1/(m+1)$ -mal der Blattbreite in einer Kollimatororientierung und $1/(m+2)$ -mal der Blattbreite in der anderen Kollimatororientierung. Die Kollimatororientierung, in der die größere Anzahl von Feldern geliefert wird, ist bevorzugterweise die Neunzig-Grad-Offset-Orientie-

lung, falls die Null-Grad-Offset-Orientierung einen Kollimatorwinkel hat, der bereits zur Minimierung des Treppenstufeneffektes optimiert worden ist. In dem Fall, in dem die Null-Grad-Offset-Position nicht durch einen Optimierungsprozess ausgewählt wurde, wird die Kollimatororientierung, die am besten mit einer Einzelbehandlungsfeldanwendung übereinstimmt, bevorzugterweise als die Orientierung ausgewählt, die weniger Bestrahlungsanwendungen hat bzw. empfängt.

[0050] Falls ein Behandlungsbereich T konkav und konvexe Bereiche aufweist, ist es schwierig, die Blätter derart zu positionieren, daß jedes Blatt einen einzigen Schnittpunkt entlang der Grenze des Behandlungsbereiches hat. Der Behandlungsbereich T kann in zwei oder mehr getrennte Bereiche unterteilt werden, wie es durch die gestrichelten Linien gezeigt ist, die auf den Behandlungsbereichen in Fig. 9 und 10 gezeigt sind. Jeder Abschnitt des Behandlungsbereiches weist nun einen einzigen (einzigartigen) Zusatz von Schnittpunkten auf und jeder Abschnitt erhält dieselbe Anzahl von Überwachungseinheiten der Strahlung, wie sie für den Behandlungsbereich vorgeschrieben ist. Die Behandlungsfelder werden individuell für jeden Abschnitt des Behandlungsbereiches T erzeugt, wie es zuvor beschrieben wurde. Da die Trennungsline auf der Kollimatororientierung basiert, wird der Behandlungsbereich T für jede Orientierung unterschiedlich unterteilt. Die Blätter, die zum Definieren der Trennungsline verwendet werden, sind bevorzugterweise leicht gegenüber der Linie versetzt, um einen Spielraum benachbart zu der Linie zu belassen. Dieser wird zum Korrigieren von Unterdosierungen, die an der Trennungsline auftreten können, verwendet. Wie in Fig. 9 und 10 gezeigt ist, die Trennungslien sind senkrecht zu der Richtung der Blattbewegung positioniert bzw. angeordnet. Dieses erlaubt es den Blättern, entlang des Randes zur Minimierung einer Unterdosierung an der Trennungsline aufgrund von Übereinstimmungslinienwirkungen (d. h. Verbindungs-wirkungen) positioniert zu werden. Falls die Trennungsline anstatt dessen parallel zu der Blattbewegungsrichtung und entlang einer Blattseite positioniert ist, kann eine Unterdosierung auftreten. Die Unterdosierung kann nicht korrigiert werden, da die Blätter nicht senkrecht zu der Trennungsline bewegt werden können. Die Blätter, die zum Definieren der Trennungsline verwendet werden, sind bevorzugterweise leicht gegenüber der Linie versetzt, um einen Spielraum benachbart zu der Linie zu belassen. Dieses wird zum Korrigieren von Unterdosierungen verwendet, die an der Trennungsline auftreten können.

[0051] Während das oben beschriebene Verfahren gut bei Behandlungsbereichen wirkt, die Grenzen mit relativ kleinen Steigungen und sanfte Übergänge zwischen Richtungsänderungen aufweisen, ist ein bevorzugtes Verfahren für Behandlungsbereiche, die unregelmäßige Grenzen aufweisen, das Plazieren eines Gitters über dem Behandlungsbereich und das Definieren einer Mehrzahl von Intensitätszellen innerhalb des Behandlungsbereichs, um die geeigneten Blattpositionen zu bestimmen. Wie in Fig. 11 gezeigt ist, ein Gitter 97 wird über dem Behandlungsbereich T derart plaziert, daß die Quadrate so positioniert sind, daß sie mit den Blättern der beiden orthogonalen Kollimatororientierungen ausgerichtet sind. Die Zellen des Gitters 97 weisen bevorzugterweise eine Seite mit einer Länge auf, die gleich eines Bruchteils (1/n, wobei n eine ganze Zahl ist) der Breite der Kollimatorblätter ist. Die andere Seite der Zelle kann einen größeren oder kleineren Wert als n in dem 1/n-Bruchteil der Blattbreite aufweisen, wie unten beschrieben wird. Zum Beispiel kann der Behandlungsbereich in 5 mm × 5 mm Zellen oder 2 mm × 5 mm Zellen zur Verwendung mit einem Mehrblattkollimator, der Blattbreiten von 1 cm auf-

weist, unterteilt werden. Andere Gittergrößen können mit Blättern unterschiedlicher Breite verwendet werden.

[0052] Alle Zellen, die innerhalb des Behandlungsbereichs T befindlich sind, empfangen die Hälfte der vorgeschriebenen Dosierung in jeder Kollimatororientierung. Dicse Zellen werden identifiziert mit "1" in Fig. 11. Die Zellen, die vollständig außerhalb des Behandlungsbereichs befindlich sind, empfangen gar keine Strahlung. Diese Zellen sind mit "0" in Fig. 11 identifiziert. Diejenigen Zellen, die auf der Grenze des Behandlungsbereichs T befindlich sind, empfangen entweder die volle Strahlung oder keine Strahlung, abhängig davon, wieviel der Zelle innerhalb des Behandlungsbereichs befindlich ist. Falls 50% oder mehr der Zelle innerhalb des Behandlungsbereichs befindlich ist, wird die Zelle die volle Strahlung erhalten, und falls weniger als 50% der Zelle innerhalb des Behandlungsbereichs befindlich sind, wird die gesamte Zelle keine Strahlung erhalten.

[0053] Fig. 12 zeigt eine Intensitätskarte, die eine Mehrzahl von 1 cm × 1 cm Makrozellen 100 (durch fette durchgezogene Linien angezeigt), die in vier 5 mm × 5 mm Mikrozellen 102 (durch gestrichelte Linien angezeigt) unterteilt sind, aufweist. Die 5 mm × 5 mm Mikrozellen 102 werden zum Umwandeln einer Makrozelle 100 in zwei orthogonale Intensitätskarten, eine mit einer Auflösung von 5 mm × 10 mm und die andere mit einer Auflösung von 10 mm × 5 mm, verwendet. Ein Beispiel eines Prozesses zum Unterteilen der Intensitätskarte in Gruppen von vier 5 mm × 5 mm Mikrozellen 102 ist in der U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/234,364 von Siochi, die am 20. Januar 1999 eingereicht wurde, die hier durch Bezugnahme in dieser Hinsicht aufgenommen wird, beschrieben. Dieses Gruppieren von 5 mm × 5 mm Mikrozellen 102 erlaubt die Behandlung eines Feldes mit einer 5 mm × 5 mm Auflösung unter Verwendung eines Mehrblattkollimators, der Blätter mit 1 cm Breite aufweist, wie es in Fig. 3 gezeigt ist.

[0054] Fig. 13 illustriert ein Beispiel einer Matrix 104, die aus einer Intensitätskarte ausgebildet ist, die aus 5 mm × 5 mm Mikrozellen 106, 108, 110, 112 zusammengesetzt ist. Jede Mikrozelle 106, 108, 110, 112 identifiziert einen Abschnitt in einem mit Strahlung zu behandelnden Feld. Die Zahlen (0, 1, 1, 2) innerhalb jeder Mikrozelle 106, 108, 110 bzw. 112 repräsentieren den Strahlungsintensitätspegel für Orte innerhalb des Feldes und sind in Überwachungseinheiten (Monitor Units = mu) oder in relativen Überwachungseinheitsintensitäten (z. B. 1×10^2 mu) angegeben. Um eine 5 mm × 5 mm Auflösung für die Intensitätskarte zu liefern, wird die Matrix 104 in zwei orthogonale Matrizen 116, 118 heruntergebrochen, die eine 1 cm × 5 mm Auflösung bzw. eine 5 mm × 1 cm Auflösung aufweisen. Ein Mehrblattkollimator mit einem Zentimeter breiten Blättern kann dann zum Liefern der Intensitätskarte mit einer 5 mm × 5 mm Auflösung verwendet werden. Zum Beispiel kann ein Paar von Blättern 97, 98, das wie in Fig. 14 gezeigt positioniert wird, zum Liefern der Intensitätskarte verwendet werden, die in der Matrix 116 aus Fig. 13 gezeigt ist. Eine Strahlungsdosis (z. B. 1 mu) wird an Felder angelegt, die den Mikrozellen 108 und 112 der Matrix 104 entsprechen. Der Kollimator wird dann um ungefähr neunzig Grad gedreht, um die Intensitätskarte, die in der Matrix 118 gezeigt ist, mit den Blattpositionen, die in Fig. 15 gezeigt sind, zu liefern. Mit dem um neunzig Grad gedrehten Kollimator wird eine Strahlungsdosis (z. B. 1 mu) an die Felder angelegt, die den Mikrozellen 110 und 112 aus der Matrix 104 entsprechen. Die zwei Strahlungsanwendungen resultieren in einer Dosis von 2 mu in dem Feld, das der Mikrozelle 112 entspricht, in einer Dosis von 1 mu in den Feldern, die den

Mikrozellen 108 und 110 entsprechen, und darin, daß keine Strahlung an das Feld angelegt wird, das der Mikrozelle 106 entspricht. Die Zerlegung der Matrix 104 in orthogonale Matrizen 116 und 118 liefert derart eine Behandlung mit einer $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ Auflösung unter Verwendung von Kollimatorblättern, die eine Breite von einem Zentimeter aufweisen.

[0055] Die Intensitätskarte wird zerlegt zum Definieren von zwei orthogonalen Karten, einer Null-Grad-Karte zur Anwendung bei einer Null-Grad-Offset-Kollimatoreinstellung und eine Neunzig-Grad-Karte zur Anwendung mit einer dazu senkrechten Kollimatoreinstellung. In der folgenden Beschreibung wird die ursprünglich eingegebene Intensitätskarte als eine Makromatrix definiert und die Gruppen von vier Mikrozellen innerhalb der Makromatrix werden als Mikromatrizen (oder Matrizen) definiert. Damit die Intensitätskarte in orthogonale Karten zerlegt wird, müssen die senkrechten Gradienten jeder Spalte der Mikromatrix (Matrix) 100 einander gleich sein und die horizontalen Gradienten jeder Zeile der Mikromatrix müssen ebenfalls einander gleich sein (Fig. 12). Dieses liefert einen $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ Bereich unter dem Schnittpunkt eines Blattpaars für eine Kollimatoreinstellung und eines anderen Blattpaars für die orthogonale Kollimatoreinstellung. Falls zum Beispiel die horizontalen Gradienten für die Mikromatrix, die die Zellen 102 aufweist (in Fig. 12 gezeigt), gleich sind, muß die folgende Gleichung gelten:

$$b-a = d-c$$

wobei a, b c, d die Intensitätswerte sind, die den Orten in der Mikromatrix 102 aus Fig. 12 entsprechen.

[0056] In ähnlicher Weise muß, falls die vertikalen Gradienten gleich sind, die folgende Gleichung gelten:

$$c-a = d-b.$$

[0057] Ein Verfahren zum Umwandeln einer Intensitätskarte, die die oben Randbedingungen nicht erfüllt (d. h., die horizontalen Gradienten für jede Zeile sind nicht gleich und/ oder die vertikalen Gradienten für jede Spalte sind nicht gleich), in eine Intensitätskarte, die gleiche horizontale und vertikale Gradienten aufweist, ist in der U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/457,601, die am 8. Dezember 1999 eingereicht wurde, die hier diesbezüglich durch Bezugnahme aufgenommen wird, beschrieben. Verschiedene Zerlegungen einer Intensitätskarte sind zum Erzeugen von zwei orthogonalen Karten möglich. Ein Optimierungsverfahren, wie es in der U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/457,602, die am 8. Dezember 1999 eingereicht wurde, beschrieben ist, die hier diesbezüglich durch Bezugnahme aufgenommen wird, kann zum Finden der Zerlegungen verwendet werden, die die kürzeste Behandlungszeit ergeben, um die Gesamtbehandlungszeit zu minimieren und die Lebensdauer der Strahlungsbehandlungsvorrichtung zu erhöhen.

[0058] Die Intensitätskarte kann in Mikrozellen heruntergebrochen werden, die eine andere Abmessung als $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ aufweisen, falls eine unterschiedliche Auflösung gefordert wird. Zum Beispiel kann jede Makrozelle in neun Mikrozellen unterteilt werden, in welchem Fall die Intensitätskarte als zwei orthogonale Intensitätskarten lieferbar ist, die eine Auflösung von $1 \text{ cm} \times 1/3 \text{ cm}$ bzw. $1/3 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ aufweisen (siehe zum Beispiel die U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/234,364, auf die bereits oben Bezug genommen wurde). Außerdem kann ein Mehrblattkollimator mit Blättern, die eine andere Breite als 1 cm aufweisen, verwendet werden, und die Größe der ent-

sprechenden Mikrozellen wird $1/n$ -mal die Blattbreite sein (wobei n eine positive ganze Zahl ist (z. B. 2 oder 3)).

[0059] Fig. 16 ist eine Ablaufdarstellung, die einen Prozess zum Definieren und Liefern von Strahlungsbehandlungsfeldern mit einem die Intensität modulierenden Mehrblattkollimator illustriert. In Schritt 200 wird ein Gitter 97 über dem Behandlungsbereich T plaziert (Fig. 11 und 16). Wie oben beschrieben wurde, das Gitter 97 enthält bevorzugterweise Zellen, die Seiten aufweisen, die gleich einem integralen Bruchteil (d. h. $1/n$, wobei n eine ganze Zahl ist) der Breite der Mehrblattkollimatorblätter entsprechen. In Schritt 202 werden die Zellen zur Bildung von Matrizen gruppiert. In Schritt 203 werden die Matrizen gefiltert, wie es in der U.S. Patentanmeldung mit der Seriennummer 09/457,601 beschrieben ist, damit sie mit dem Zerlegungsprozess kompatibel sind. Jede Matrix wird in orthogonale Matrizen zerlegt (Schritt 204). Der Kollimator wird dann um die zentrale Achse R in seine optimale Null-Grad-Offset-Position gedreht (Schritt 206). Mit dem Kollimator in seiner Null-Grad-Offset-Orientierung werden die Blätter longitudinal zum Definieren eines ersten Behandlungsfeldes bewegt (Schritt 208). Eine Hälfte der vorgeschriebenen Strahlungsdosis wird auf das erste Behandlungsfeld angewandt (Schritt 210). Der Kollimator wird dann um ungefähr neunzig Grad um die zentrale Achse R gedreht (Schritt 212) und die Blätter werden zum Definieren eines zweiten Behandlungsfeldes positioniert (Schritt 214). Die verbleibende Hälfte der Strahlung wird dann mit den für das zweite Behandlungsfeld positionierten Blättern angewandt (Schritt 216). Die Blätter können auch zum Definieren von zusätzlichen Behandlungsfeldern positioniert werden, falls es durch die Zerlegung der Matrizen erforderlich ist, wie es in Fig. 13 gezeigt ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Liefern von Strahlung von einer Strahlungsquelle an einen Behandlungsbereich (T) unter Verwendung eines Mehrblattkollimators (80), mit den Schritten:

Positionieren des Mehrblattkollimators zwischen der Strahlungsquelle und dem Behandlungsbereich zum Blockieren eines Teils der Strahlung, wobei die Blätter (120, 122) des Mehrblattkollimators sich longitudinal entlang einer ersten Achse (Y) erstrecken und zum Definieren eines ersten Behandlungsfeldes positioniert sind,

Liefern von Strahlung an das erste Behandlungsfeld, Drehen des Mehrblattkollimators um eine zentrale Achse (R), die sich im wesentlichen senkrecht zu einer Ebene erstreckt, die mindestens einen Teil der Blätter enthält,

Positionieren der Blätter (124, 126) zum Definieren eines zweiten Behandlungsfeldes, und

Liefern der Strahlung an das zweite Behandlungsfeld.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Drehen des Mehrblattkollimators (80) ein Drehen des Kollimators, bis die Blätter sich longitudinal entlang einer zweiten Achse (X), die im wesentlichen senkrecht zu der ersten Achse (Y) ist, erstrecken, aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Liefern der Strahlung an das erste Behandlungsfeld das Liefern von einer Hälfte einer vorgeschriebenen Strahlungsdosis aufweist, und das Liefern der Strahlung an das zweite Behandlungsfeld das Liefern der verbleibenden Hälfte der vorgeschriebenen Strahlungsdosis aufweist.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei

dem das Positionieren der Blätter das Positionieren derart, daß die Umfangskante des Behandlungsbereiches einen Mittelpunkt der Querkante (130) des jeweiligen Blattes schneidet, aufweist.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 4, 5 das weiter die Schritte des longitudinalen Bewegens der Blätter (120, 122) zum Definieren eines dritten Behandlungsfeldes und des Liefern von Strahlung an das dritte Behandlungsfeld aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Positionieren der Blätter (124, 126) zum Definieren des zweiten Behandlungsfeldes das Schneiden des Umfangsrandes des Zielbereiches mit einem Querrand (130) des jeweiligen Blätter in einer Position, die ein Drittel der Breite des Blattes von einem Längsrand des Blattes be- 10 abstandet ist, aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das Bewegen der Blätter zum Definieren des dritten Behandlungsfeldes das Schneiden des Umfangsrandes des Zielbereiches mit dem Querrand (130) des Blattes in einer Position, die zwei Drittel der Breite des Blattes von dem 15 Längsrand des Blattes beabstandet ist, aufweist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem das Liefern der Strahlung an das erste, das zweite und das dritte Behandlungsfeld das Liefern von einem 20 Drittel einer vorgeschriebenen Strahlungsdosis an jedes der Behandlungsfelder aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, das weiter die Schritte des Teilens des Behandlungsbereichs in eine Mehrzahl von Zellen (102), die jeweils 25 einen definierten Behandlungsintensitätspegel aufweisen, des Gruppierens der Zellen zur Bildung einer Mehrzahl von Matrizen (114), wobei jede der Matrizen mindestens eine Abmessung, die ungefähr gleich zu der Breite eines Kollimatorblattes ist, aufweist, und des 30 Zerlegens von jeder der Matrizen in orthogonale Matrizen (116, 118) aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem Strahlung mit einer Auflösung, die der Hälfte der Blattbreite entspricht, geliefert wird. 40

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, das weiter die Schritte des Zuordnens eines Intensitätspegels, der größer als Null ist, zu jeder Zelle (102), die als Ganzes innerhalb des Behandlungsbereiches liegt, und des Zuordnens eines Intensitätspegels von Null zu jeder Zelle, 45 die komplett außerhalb des Behandlungsbereiches liegt, aufweist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, das weiter die Schritte des Zuordnens eines Intensitätspegels größer als Null zu jeder Zelle (102), bei der eine Hälfte oder mehr ihrer Fläche innerhalb des Behandlungsbereichs liegt, und des Zuordnens eines Intensitätspegels von Null zu jeder Zelle, bei der weniger als eine Hälfte ihrer Fläche innerhalb des Behandlungsbereichs liegt, aufweist. 50

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, bei dem die Kollimatorblätter eine Breite von 1 cm aufweisen und die Zellen ungefähr 1 cm \times 5 mm sind.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, das weiter den Schritt des Teilens des Behandlungsbereiches in zwei oder mehr Abschnitte aufweist, wobei der Bereich entlang einer Linie geteilt wird, die sich im wesentlichen senkrecht zu einer Richtung der Bewegung der Blätter erstreckt. 60

- Leerseite -

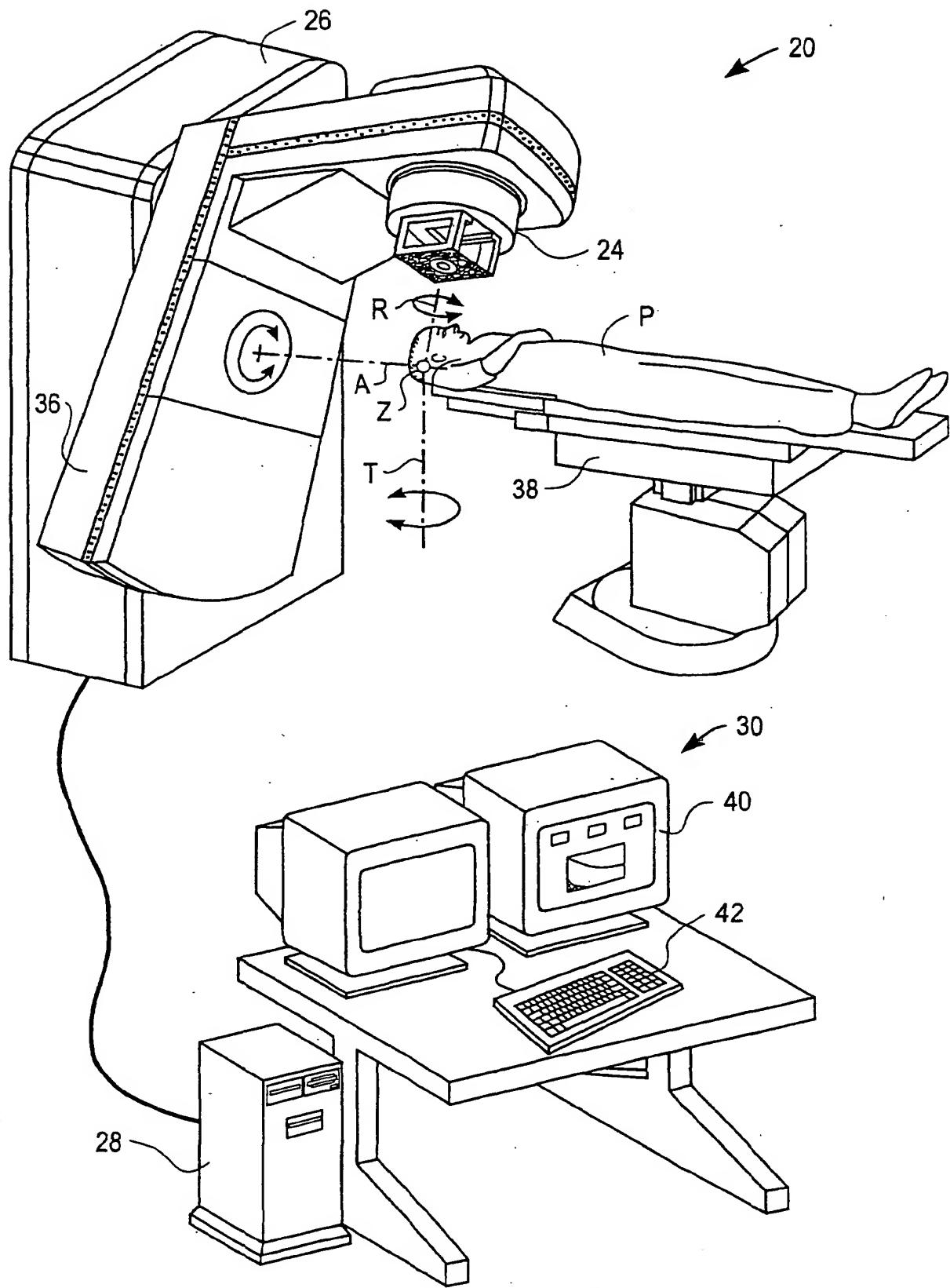


FIG. 1

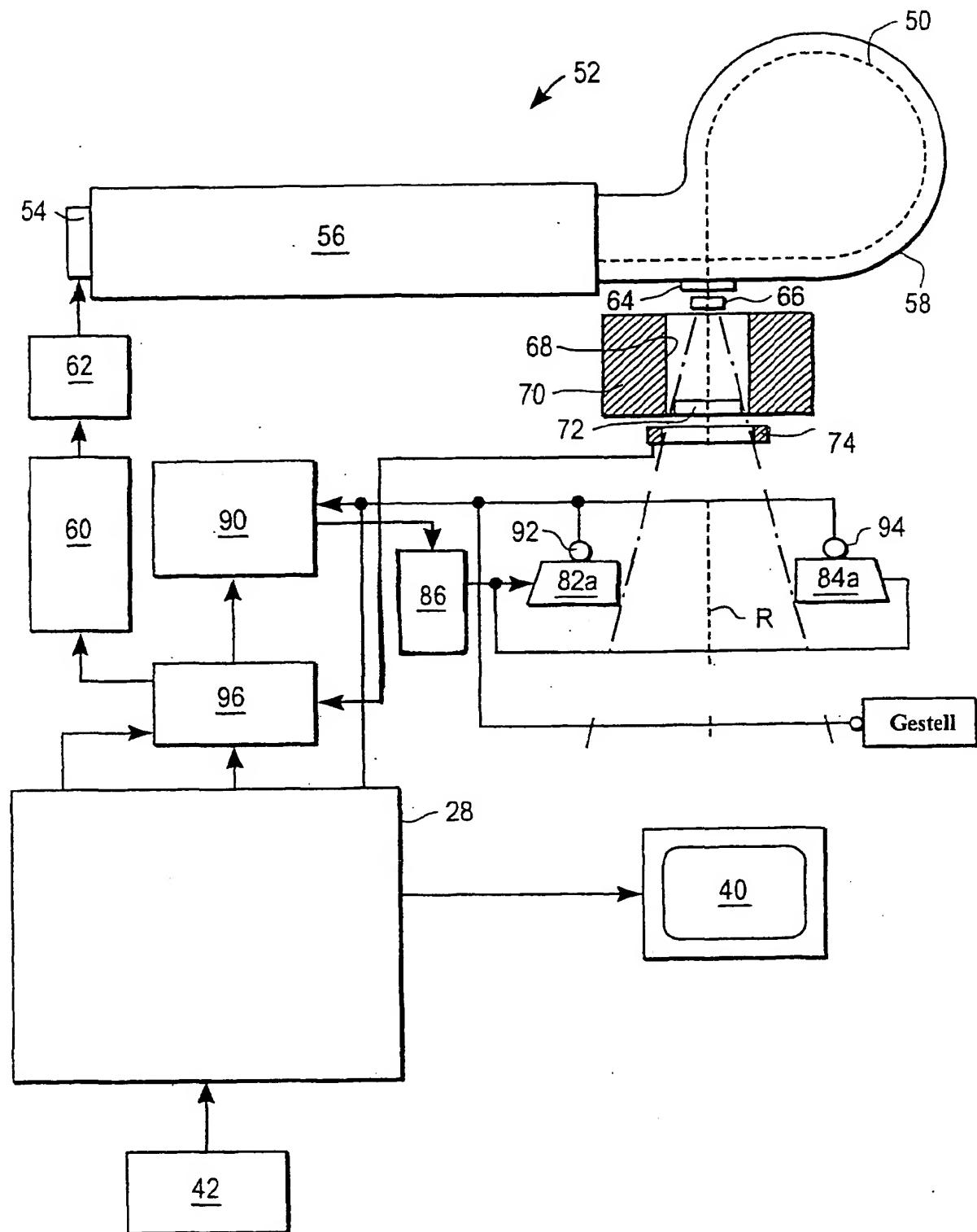


FIG 2

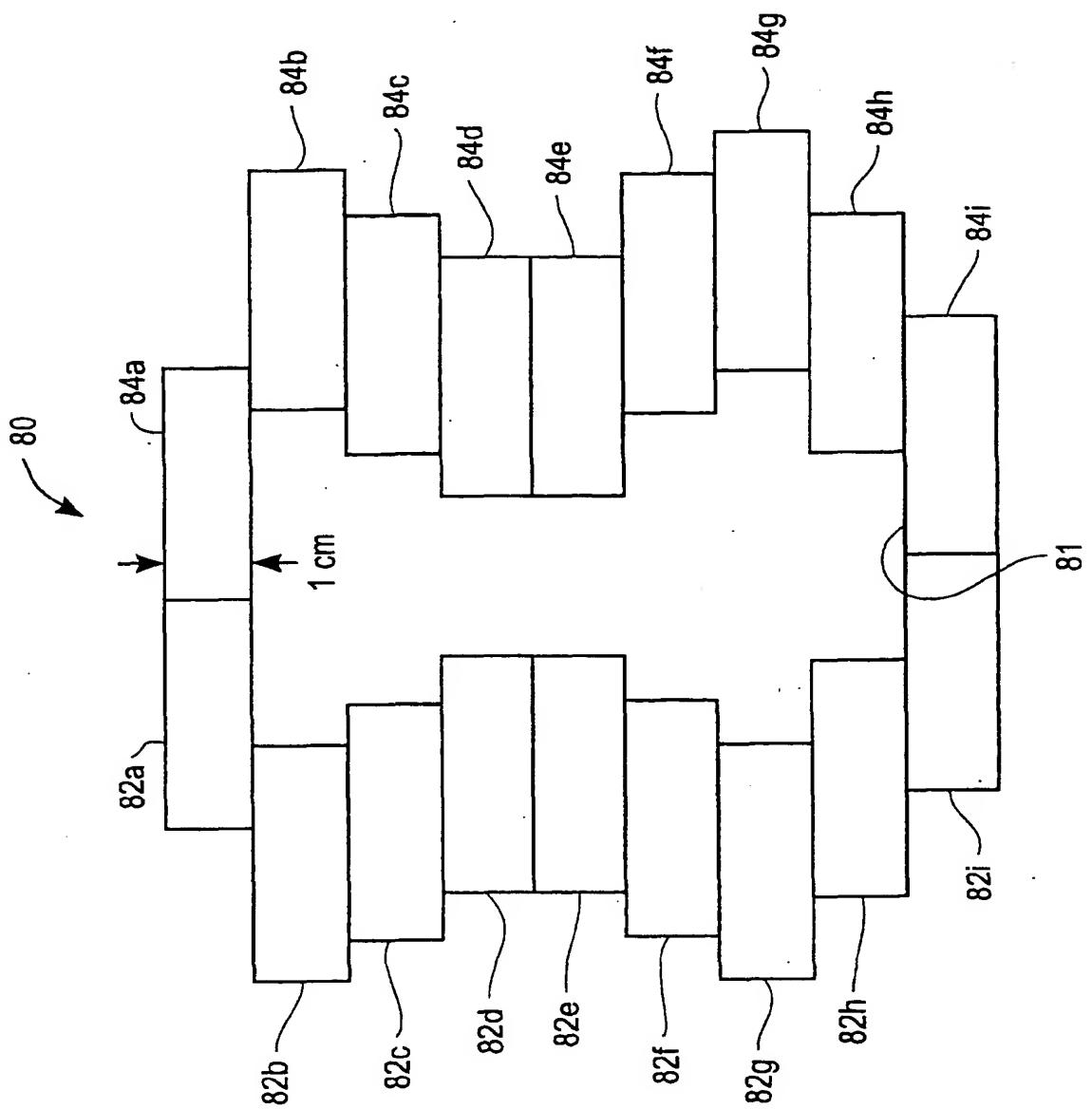


FIG. 3

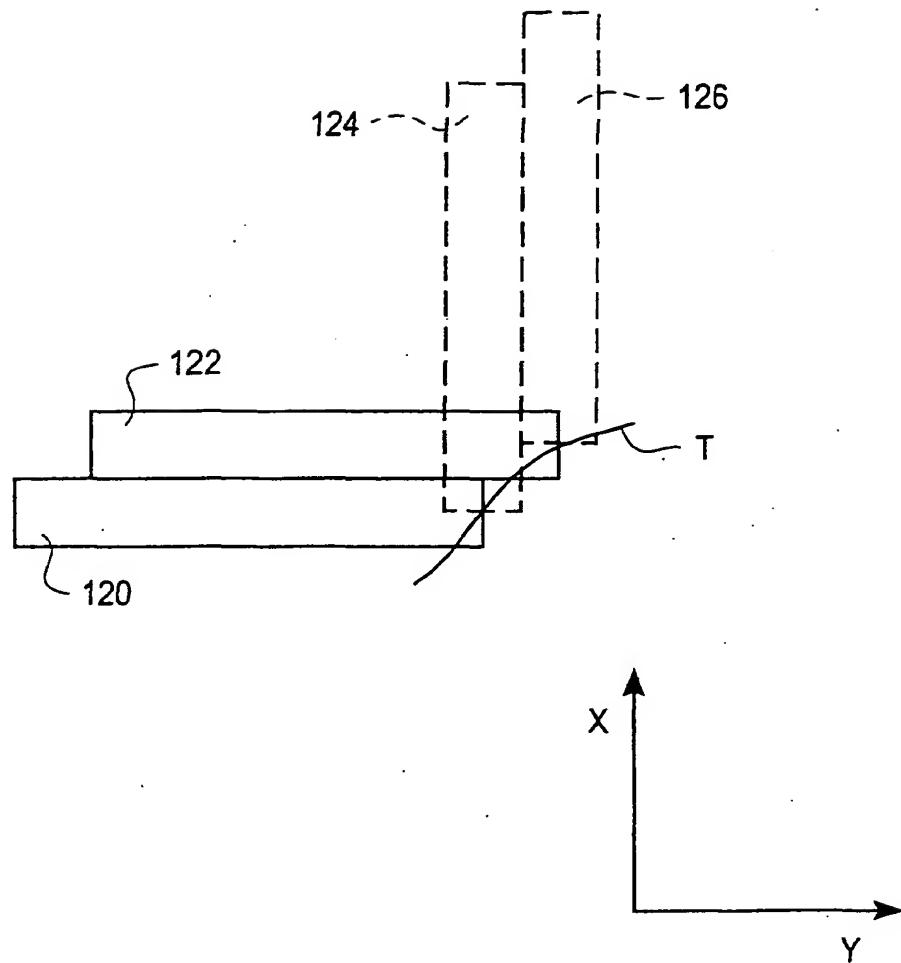


FIG. 4

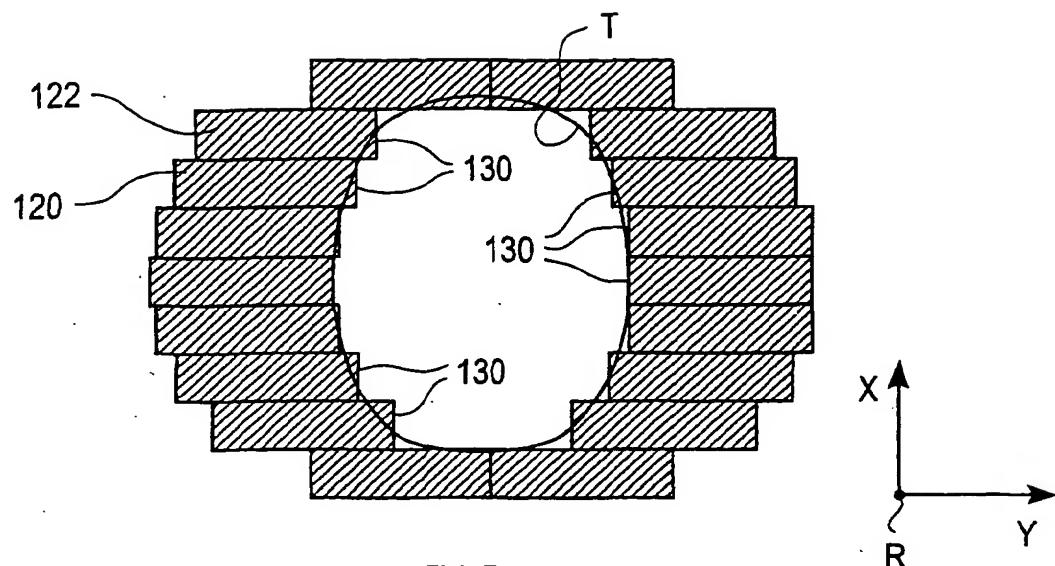


FIG. 5

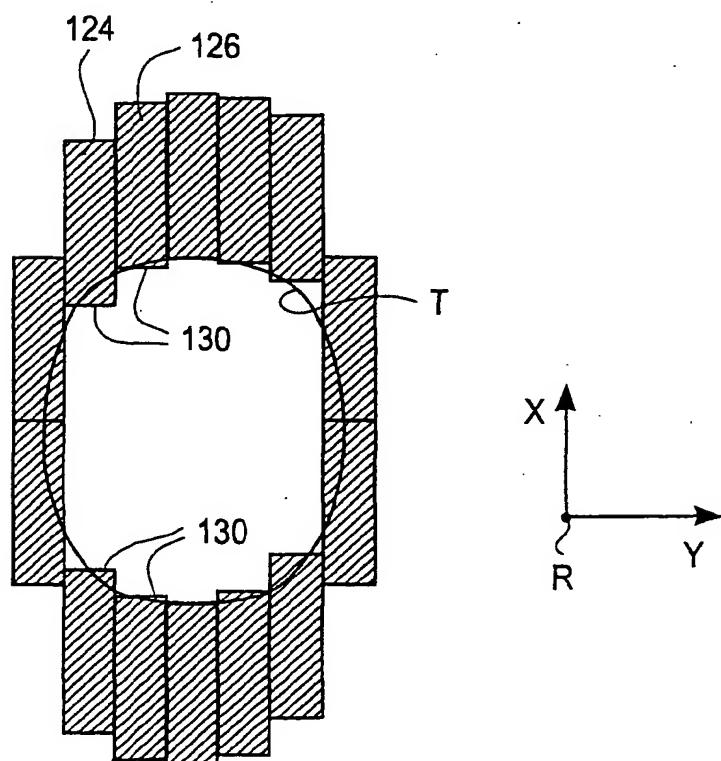


FIG. 6

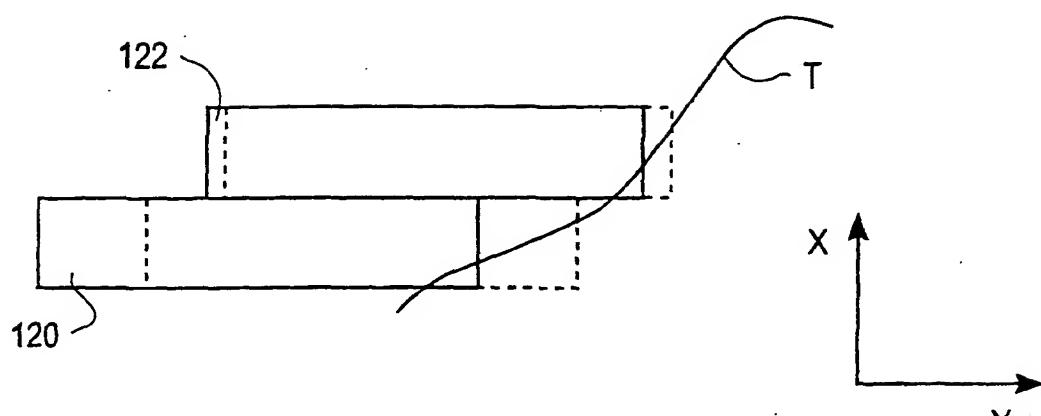


FIG. 7

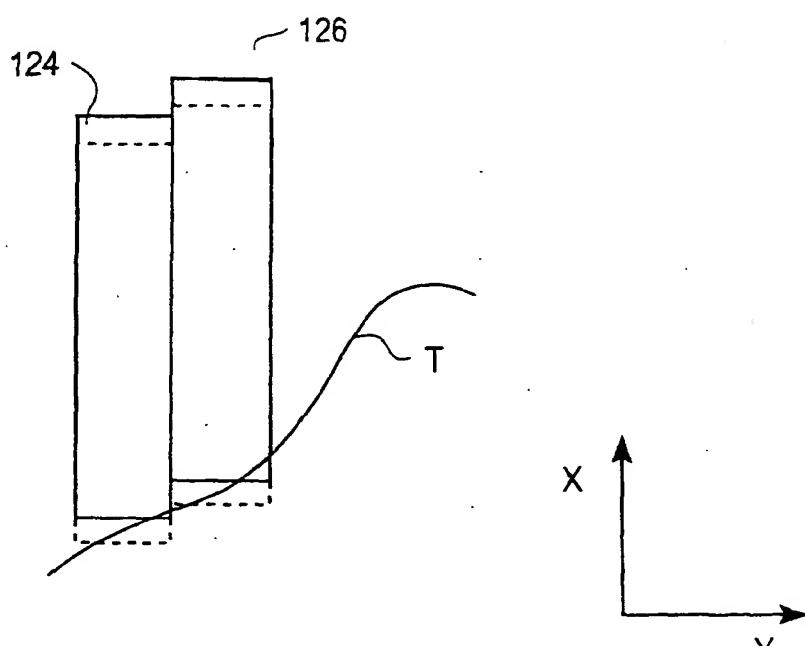


FIG. 8

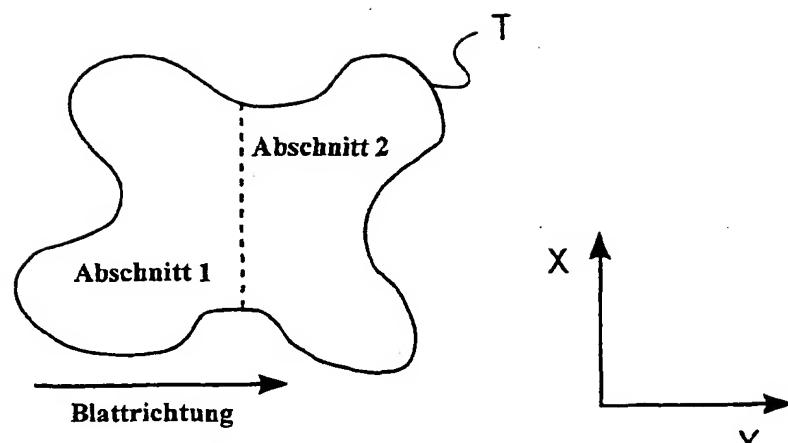


FIG. 9

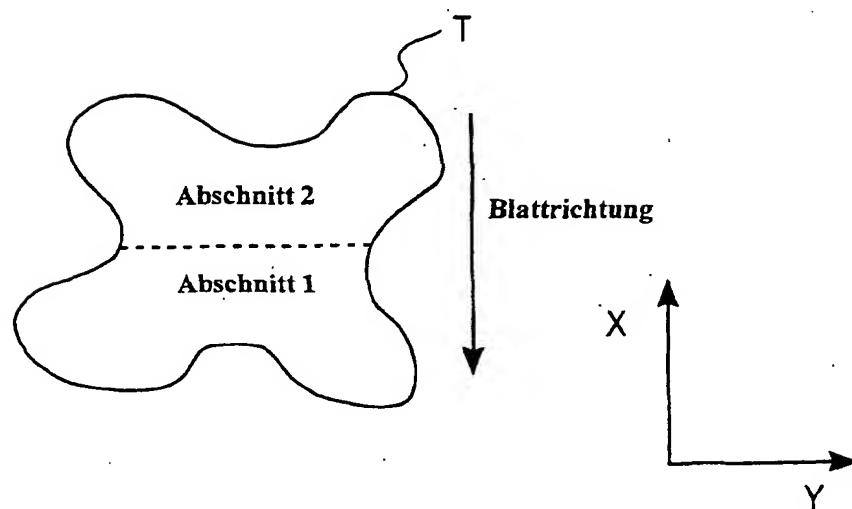
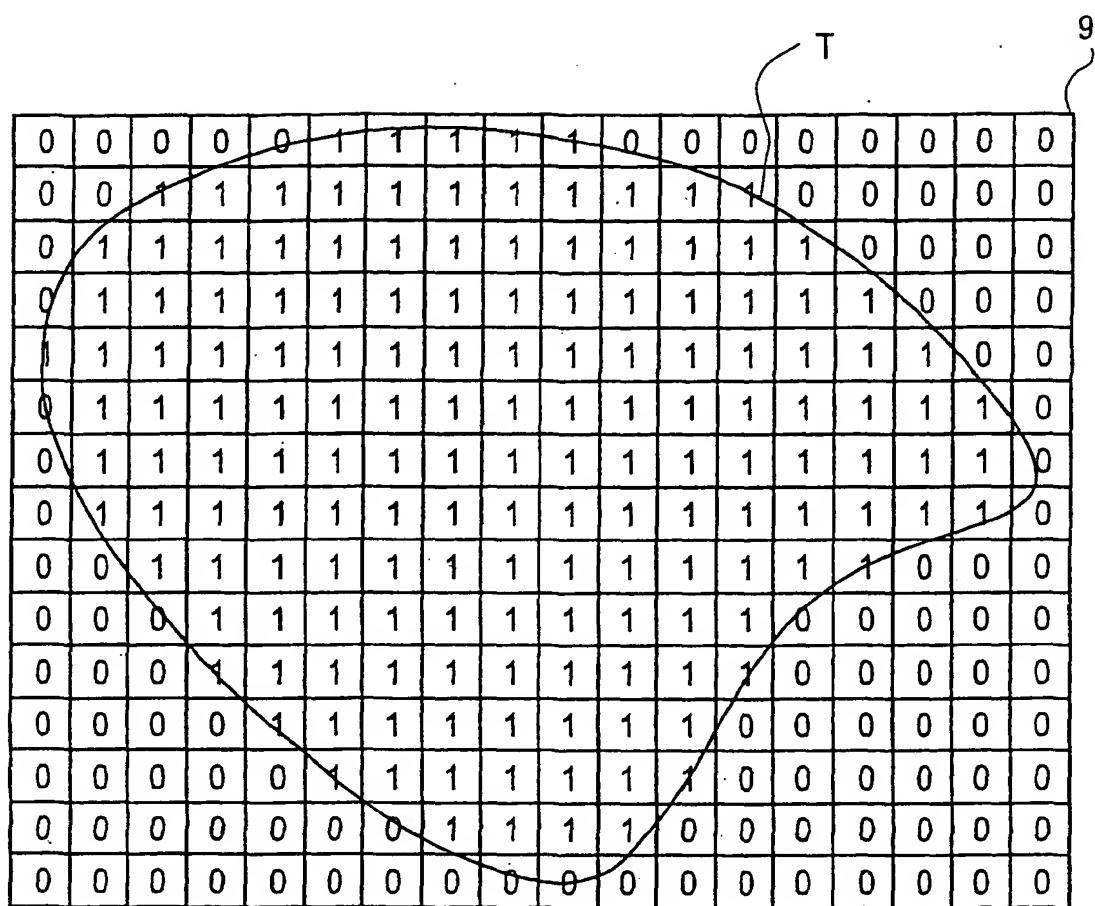


FIG. 10



A 16x16 grid of binary digits (0s and 1s). A hand-drawn path is shown, consisting of a series of connected line segments. The path starts at the top-left corner (0,0), moves right, then down, then right again, forming a U-shape that covers the first four columns. It then continues right, then down, then right, covering the next four columns. This pattern repeats for the last eight columns. A circled 'T' is located in the top-right corner of the grid. The grid is bounded by a thick black border.

0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0

FIG. 11

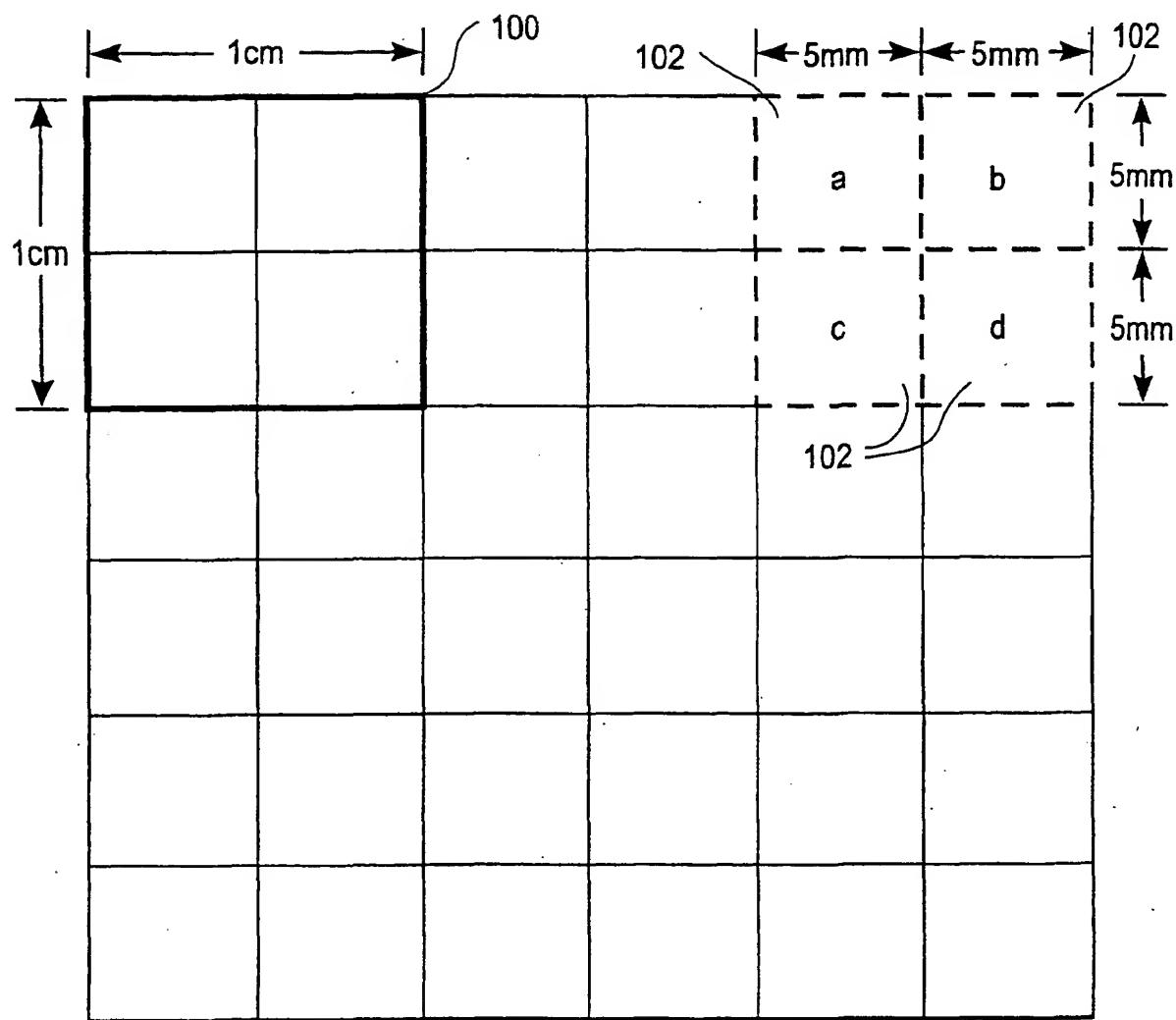


FIG. 12

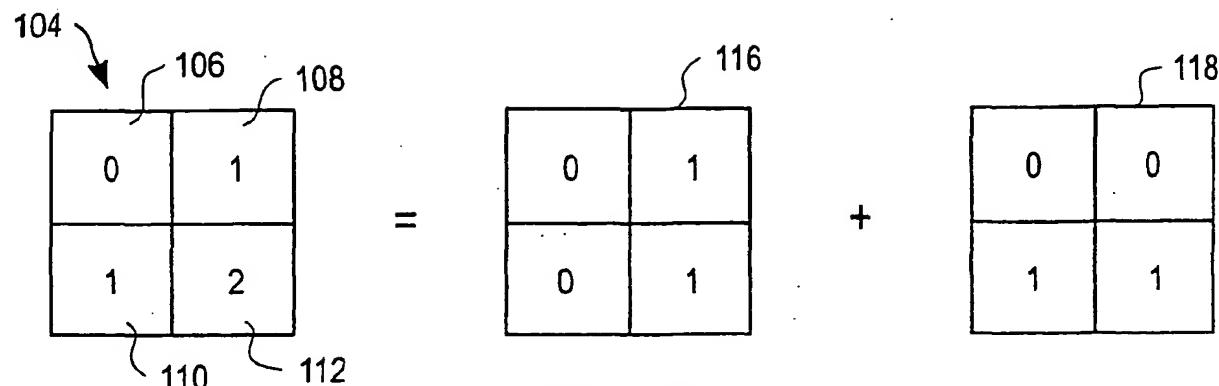


FIG. 13

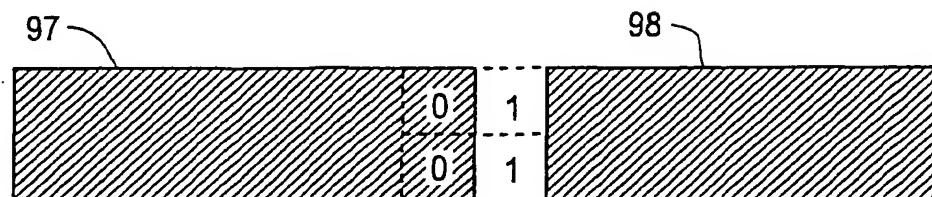


FIG. 14

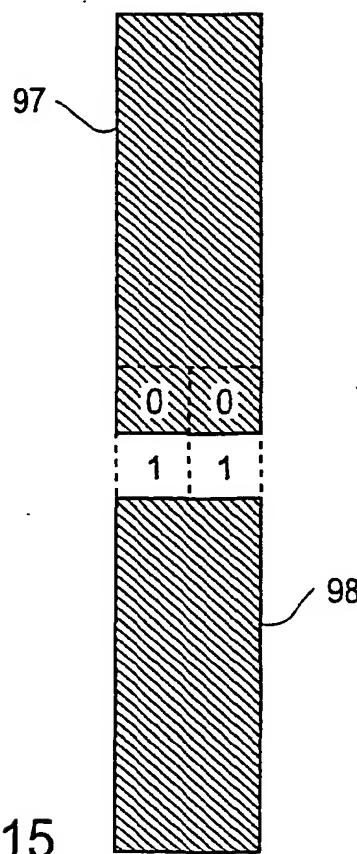


FIG. 15

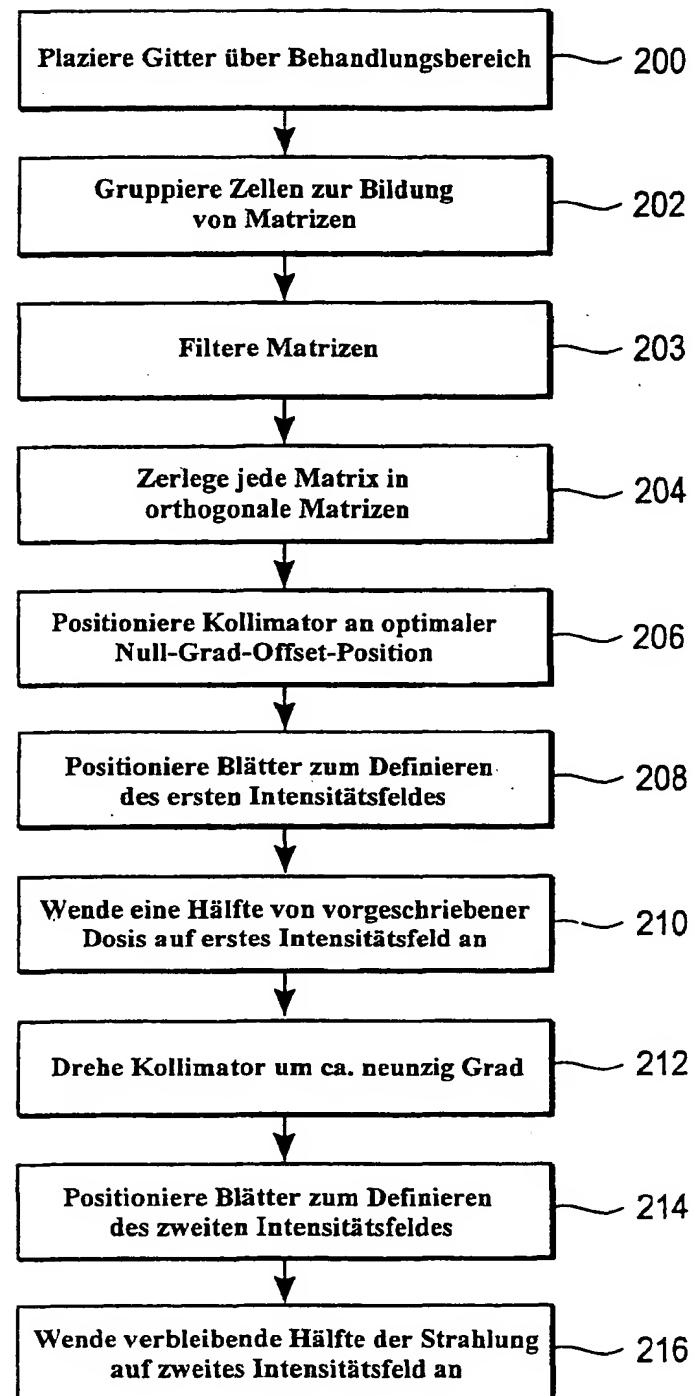


FIG. 16